

文章编号: 1672-2892(2010)02-0219-04

基于 EPICS 的自由电子激光 THz 源控制系统

张德敏, 黎 明, 杨兴繁

(中国工程物理研究院 应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 介绍了自由电子激光 THz 源控制系统的组成和结构, 对实验物理和工业控制系统 (EPICS) 在注入器控制系统、磁压缩控制系统和消色散传输控制系统中的应用进行了研究, 详细分析了控制系统硬件结构及软件实现。对 ASYN 和 StreamDevice 软件包开发串口设备和 GPIB 设备支持模块进行了研究, 并将其应用于串口和带 GPIB 接口的设备中, 实现了注入器系统、磁压缩系统和消色散传输系统的 EPICS 控制。EPICS 的成功应用为自由电子激光 THz 源控制系统的升级和整合做好了前期准备工作。

关键词: 控制系统; 实验物理和工业控制系统; ASYN 软件包; StreamDevice 软件包; GPIB 设备; 串口设备

中图分类号: TN248.6

文献标识码: A

Free Electron Laser-THz control system based on EPICS

ZHANG De-min, LI Ming, YANG Xing-fan

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: This paper describes a control system of Free Electron Laser(FEL)-THz, which is a distributed control system based on Experiment Physics and Industrial Control System(EPICS). It gives detailed description of the injector control system, magnetic bunch compressor system and transport control system, including the hardware structure and software design. It also describes the process of creating device support module for the GPIB device and RS232 serial device. The implementation provides preparations for the upgrade of the FEL-THz control system.

Key words: control system; Experiment Physics and Industrial Control System; ASYN; StreamDevice; GPIB device; serial device

THz 是介于微波和红外之间的波段, THz 技术是近 20 年来发展起来的一种新型技术。THz 本身具有的一些独特优点, 使其在诸如物体成像、环境监测、医疗诊断、射电天文、宽带移动通信等方面具有很大的应用潜力, 一直受到世界各国政府和各科研院校的高度重视和支持^[1]。中国工程物理研究院应用电子学研究所一直以来致力于基于自由电子激光的 THz 源研究。自由电子激光 THz 源实验需要一个高可靠性、高稳定性和快速响应的控制系统, 同时良好有效的控制系统对于电子轨道的精确定位、电子束质量的改善、激光增益的提高十分重要, 因此控制系统的开发和设计是一项十分重要和复杂的工程。目前, 在高能物理实验装置中普遍使用实验物理和工业控制系统(EPICS)开发工具进行控制系统的研发和设计, 开发的系统具有可扩展性、可重用性、可移植性强、技术成熟、性能稳定^[2]等特点。自由电子激光 THz 源控制系统将应用 EPICS 进行开发, 建立基于计算机网络通信的分布式控制系统。

1 控制系统组成

自由电子激光 THz 源控制系统按照其结构可分为注入器系统、磁压缩系统、消色散传输系统、高频设备控制系统、束流诊断系统、同步定时系统、真空和水冷系统等, 系统总体布局见图 1。

高频设备控制子系统包括微波系统和调制器的监控, 该系统本身配置一套严密的控制设备, 操作人员可直接在控制台面板上操作。束流诊断系统中对束流位置的监测主要采用束流位置探头(Beam Position Monitor, BPM),

BPM原始信号传输到计算机进行束流轨道校正计算；束流截面监测采用北京纳诺帕技术中心生产的束流截面监测气动装置进行，它可提供 10 路信号，通过 RS232 接口与计算机连接来控制靶的升降，摄像机将视频信号传输到主控室的主显示屏上；微脉冲宽度一般只有 15 ps~20 ps，可采用单独的条纹相机进行测量；束流诊断系统中其他信号采用示波器直接进行观察。

同步定时系统采用基于复杂可编程逻辑器件(Complex Programmable Logic Device, CPLD)的控制系统，实现调制器、激光器与微波源的精确同步，同步精度达到了 0.1 μ s，脉冲宽度为 6.4 μ s^[3]。真空系统中主要包括真空计控制、真空泵电源控制以及真空阀门的运行控制、状态监测以及设备连锁保护；系统中共有自行设计的 7 台离子泵电源，2 台成都正华电子仪器有限公司的真空计置于主控室，用于监测真空值读数。水冷系统主要包括系统电源的开/关、温度值的设定和监控。注入器系统、磁压缩系统、消色散传输系统的控制将应用 EPICS 软件开发工具进行开发和设计。

根据自由电子激光 THz 源控制系统结构特点，将采用 EPICS 分布式控制系统进行设计。系统的操作员接口模块(Operator Interface, OPI)采用 2 台工控机，4 台工控机作为 I/O 控制器(I/O Controller, IOC)，局域网采用 100 M 以太网。控制系统结构见图 2。

2 EPICS 系统应用

2.1 硬件系统

在自由电子激光 THz 源控制系统中，高频设备控制系统、束流诊断系统、同步定时系统、真空和水冷系统目前都自配一套控制系统，注入器控制系统主要采用 VC 语言进行开发和设计，磁压缩系统和消色散传输系统中被控设备采用手动控制。现采用 EPICS 进行整合和开发，实现注入器系统、磁压缩系统和消色散传输系统的自动控制。

控制系统结构采用 EPICS 分布式控制系统的标准模型，OPI 置于主控室，采用一台配置 Pentium(R)4 CPU 3.2 GHz, 512 MB 内存的 Linux 系统工控机，通过局域网获取来自前端计算机即 IOC 的数据和信息。IOC 采用配置 Inter P4 CPU 2.00 GHz, 512 MB 内存，运行 Linux 系统的工控机，系统的实时数据库、实时作业、数据采集、设备控制以及故障报警的生成都该计算机上，同时通过局域网响应操作员计算机的控制请求。采用 Broadcom Corporation BCM4401 100Base-T 建立 OPI 与 IOC 之间的局域网，该局域网采用用户数据报协议(User Datagram Protocol, UDP)/IP 通道访问协议，网络通信模块 EPICS/CA 支持 TCP/IP 或 UDP/IP 协议，CA 软件包分别安装在 OPI 和 IOC 上，使用 CA 工具，用户可以透明方式直接读取驻留在网络节点上 IOC 数据库中的实时数据，实现数据网络共享。

在该控制系统中，涉及的被控设备主要为 GPIB 设备和 RS232 串口设备。GPIB 设备接口满足 IEEE488.1-1987, IEEE488.2-1992 以及 SCPI-1994 协议标准，系统采用 NI 公司生产的 PCI-GPIB 接口卡和 GPIB 总线实现设备与 IOC 的通信，GPIB 总线可连接 15 台设备，传输距离达到 20 m，传输速率可达 1.5 Mbps。RS232 接口提供点到点的通信，传输距离可达 15 m。系统中，共有 5 台设备采用 GPIB 接口与计算机进行连接，1 台设备通过 RS232 接口与计算机进行连接。

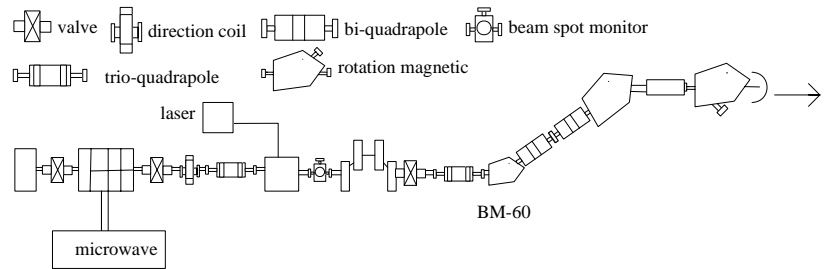


Fig.1 Layout of system
图 1 系统布局图

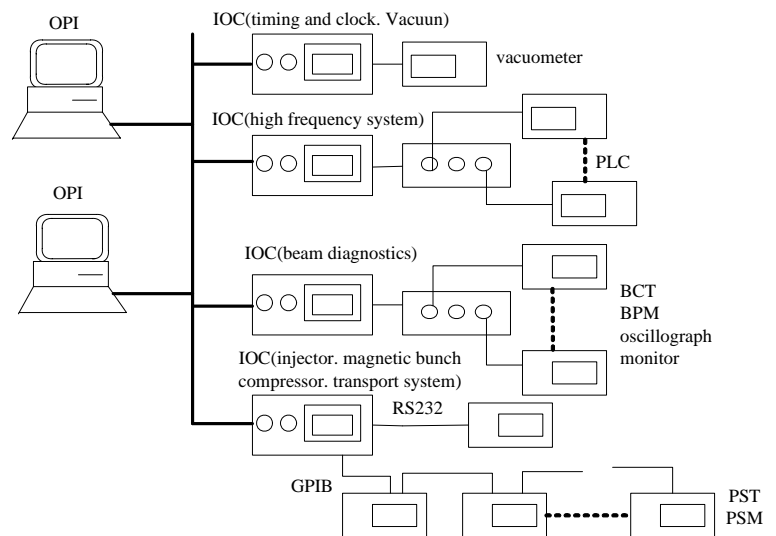


Fig.2 System architecture
图 2 控制系统结构

2.2 软件系统

与 EPICS 体系结构相对应, 软件系统可分为 OPI 应用软件和 IOC 应用软件^[4], 采用客户/服务器模型, OPI 与 IOC 利用通道访问机制进行数据交换。软件系统结构见图 3。

OPI 软件系统中, 主要采用 Linux 操作系统作为操作平台, 利用通道访问客户工具对各控制通道进行监测和控制。EPICS 工具包中提供了开发 OPI 的多种软件工具, 在本系统中主要采用用户界面运行/编辑工具(Motif Editor and Display Manager, MEDM)、数据存档开发工具 Channel Archiver 以及数据恢复工具 BURT。MEDM 主要进行人机交互界面的开发, 建立图形界面单元与控制通道的对应关系, 通过对人机交互界面的操作实现对控制通道的监控; 本系统在操作方式上主要采用弹出窗口的监控方式, 即在按下主控界面相关按钮(对应于某子系统)时, 弹出子系统的控制界面以供操作员对其进行监测和调控, 这将更易于以后控制系统的丰富和完善; 使用 MEDM 开发的子系统消色散传输系统控制界面见图 4。Channel Archiver 主要对一些控制通道的数据进行存档, 以供离线分析使用; 应用 BURT 工具备份和恢复 IOC 中的各通道的值。

IOC 软件的核心是分布式实时数据库(Distributed Runtime Database)以及相关的输入/输出支持模块(Input/Output Support Module), 比较重要的功能包括数据库扫描(Database Scanning)、数据库访问(Database Access)、记录支持(Record Support)、设备/驱动支持(Device/Driver Support)等部分^[5]。EPICS 提供了多种开发 IOC 系统的软件包, 同时还提供了多种接口设备的驱动支持模块以及记录支持模块, 因此 IOC 系统主要工作是设备支持模块的开发以及数据库的设计。不同的接口设备可采用不同的软件包进行设备支持模块的开发, 本系统主要采用 ASYN 软件包开发 RS232 串口设备的设备支持模块, 采用 StreamDevice 建立 GPIB 设备支持模块, 采用 VDCT 软件包进行数据库的开发和设计工作。

ASYN 软件包提供的 asynDriver(Asynchronous Driver Support)用于被控设备与低端驱动层的接口连接, 通过接口完成设备支持模块与 EPICS 驱动支持模块的通信^[6]; StreamDevice 主要用于 GPIB 设备支持模块的开发, 它提供 asynDriver 与上层软件的接口^[7]; 数据库是控制系统的核心, 操作员控制台的操作指令通过数据库与被控对象发生联系, 数据库由许多记录组成, 每个记录代表一个通道, 数据库记录通过记录支持模块、设备支持模块和设备驱动模块实现数据库与被控对象之间的联系。

ASYN 的优点主要是提供了建立设备支持模块的框架, 使得开发工作变得有规可循; 另一方面设备支持模块采用文件的方式进行管理, 因此实际工作中主要是编写设备支持文件(devGPIB.c)。StreamDevice 基于协议文件, 在 iocInit 之前, 它将下载要求的协议文件。协议文件需要单独建立, 它主要包括与 GPIB 设备相关功能的协议和指令变量的声明等。

数据库采用 VDCT 配置工具进行开发, 本系统中主要使用的数据库记录包括 cacl 和 ao, 其中 cacl 用于将 ao 的 VAL 域进行线性运算后作为另一个 ao 的输出。

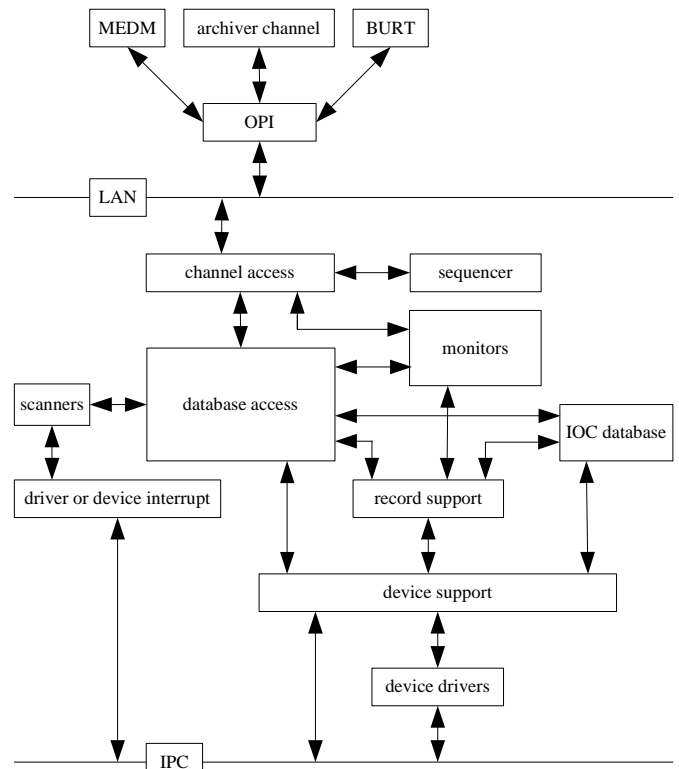


Fig.3 Software structure of control system
图 3 软件系统结构

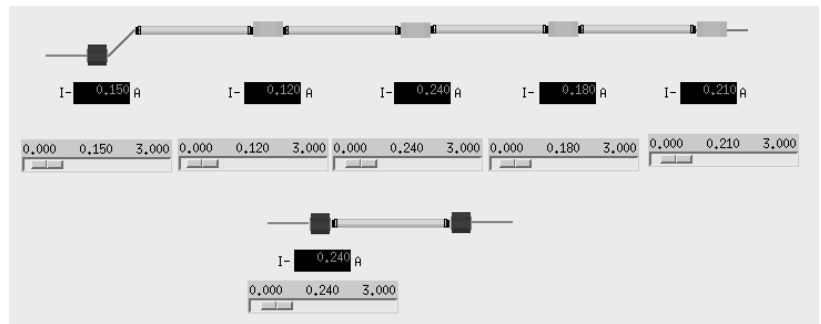


Fig.4 Control panel of system
图 4 消色散传输系统控制界面

3 结论

自由电子激光 THz 源中基于 EPICS 平台开发的控制系统已经顺利地完成了调试, 并正式投入运行。实验表明, 该系统性能稳定, 可长时间无误运行, 达到实验可靠性要求; 良好的可扩展性为以后控制系统的完善提供了便利, 将大大缩短开发周期; 开发的应用程序适用于其它 GPIB 设备和串口设备, 系统可重用性高; 系统的成功运行, 为以后控制系统的不断完善和升级奠定基础, 积累经验。

参考文献:

- [1] 张怀武. 我国太赫兹基础研究[J]. 中国基础科学, 2008,10(1):15-20.
- [2] Bob Dalesio. EPICS Overview[EB/OL]. (2002-12)[2009-10-10]. <http://www.aps.anl.gov/epics/docs/USPAS2003.PHP>.
- [3] 胡和平,甘孔银. 基于 CPLD 的 FEL 同步控制系统设计[C]// 中物院应用电子学研究所第八届青年学术交流会. 2005.
- [4] 沈国保. EPICS 控制系统接口技术研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2003.
- [5] 张德敏,金晓,黎明,等. EPICS 在加速器控制系统中的应用[J]. 强激光与粒子束, 2008,20(4):597-600.
- [6] Marty Kraimer, Eric Norum, Mark Rivers. asynDriver: Asynchronous Driver Support[EB/OL]. (2006-3-2)[2009-10-10]. <http://www.aps.anl.gov/epics/download/modules/index.php>.
- [7] Dirk Zimoch. StreamDevice 2[EB/OL]. (2008-07-10)[2009-10-10]. <http://epics.web.psi.ch/software/streamdevice/>.

作者简介:



张德敏(1981-), 女, 重庆市人, 硕士, 主要研究方向为加速器控制技术研究. email: zhangdemin99@163.com.

黎明(1968-), 男, 湖北省天门市人, 博士, 研究员, 主要从事加速器与微波技术研究.

杨兴繁(1969-), 男, 辽宁省海城市人, 博士, 副研究员, 主要从事加速器技术研究.

(上接第 210 页)

- [2] Jutten C, Herault J. Blind separation of sources, Part I: An adaptive algorithm based on euro-mimetic architecture [J]. Signal Processing, 1991,24(1):1-10.
- [3] Common P. Independent component analysis, A new concept?[J]. Signal Processing, 1994,36(3):287-314.
- [4] Bell Anthony J, Sejnowski Terrence J. An information-maximization approach to blind separation and blind Deconvolution[J]. Neural Computation, 1995,7(6):1004-1034.
- [5] Cardoso J F, Laheld B H. Equivariant adaptive source separation[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1996,44(10):3017-3030.
- [6] 张贤达, 保铮. 盲信号分离[J]. 电子学报, 2004,29(12):1766-1771.
- [7] Amari S I, Cichocki A. Adaptive blind signal processing-neural network approaches[J]. Proceedings of the IEEE, 1998,86(10):2026-2046.
- [8] Cichocki A, Orsler B, Back A, et al. On-line adaptive algorithms in nonstationary environments using a modified conjugate gradient approach[C]// Proc. IEEE Workshop Neural Networks for Signal Processing. Sept. 1997:316-325.
- [9] Amari S, Chen T P, Cichocki A, et al. Stability analysis of adaptive blind source separation[J]. Neural Networks, 1997,10(8):1345-1351.
- [10] 杨行峻, 郑君里. 人工神经网络与盲信号处理[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.

作者简介:



程 娇(1984-), 女, 湖北省随州市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为小波变换、信号处理等. email: 072021049@fudan.edu.cn.

王晓凯(1984-), 男, 浙江省舟山市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为信号处理、滤波器设计等.

李 锋(1946-), 男, 上海市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电路理论、信号处理、故障诊断等.